
ANALISIS RESPON MEDAN GEOMAGNET ANTARA STASIUN DI EKUATOR MAGNET DAN STASIUN BIAK SAAT BADAI GEOMAGNET PADA MERIDIAN MAGNET 210° MM

(ANALYSIS OF THE GEOMAGNETIC FIELD RESPONSE BETWEEN STATIONS AT MAGNETIC EQUATORIAL AND BIAK STATION WHEN GEOMAGNETIC STORM AT 210° MM)

Anwar Santoso

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia

e-mail: anwar@bdg.lapan.go.id

Diterima 11 Januari 2016, Direvisi 9 Juni 2016, Disetujui 24 Juni 2016

ABSTRACT

Geomagnetic storm is a geomagnetic disturbance that occurs globally. Until now believed that the greatest impact of geomagnetic storms occurred in the high latitudes and decreases with decreasing latitude to the equator. However, based on the data component of the geomagnetic field H obtained CPMN other phenomena, that is H minimum of Onagawa station (31,15° LU; 212,63° BT magnetic coordinates) is smaller than the H minimum at Biak station (9,73° latitude; 207,39° BT magnetic coordinates) during geomagnetic storms on July 15, 2000. This reality is different from what was believed to be on top. To ensure this, then done the analysis of the geomagnetic field H component response based on the latitude using the geomagnetic field data from Biak station and stations around 210° MM for the whole event a strong geomagnetic storms (Dst < -100 nT) during 1995-2001. Results of the analysis showed that the response time of geomagnetic field geomagnetic storm in Biak is greater than at the magnetic equator (YAP) with an difference average of H is 59,27 nT. EEJ and CEJ pattern in the EEJ region (10° S to 10° N magnetic coordinate) shown could effected to the response of geomagnetic geomagnetic. The most important to note that if the geomagnetic response in Indonesia higher than in the geomagnetic equator (YAP) then the occurrence probability of GIC in Indonesia is higher.

Keywords : *Geomagnetic storm, H component of geomagnetic field, the Geomagnetic response to latitude*

ABSTRAK

Badai geomagnet merupakan gangguan geomagnet yang terjadi secara global. Sampai saat ini dipercaya bahwa dampak terbesar badai geomagnet terjadi di lintang tinggi dan semakin menurun dengan menurunnya lintang sampai di ekuator. Namun, berdasarkan olah data komponen H medan geomagnet dari CPMN diperoleh fenomena lain yaitu H minimum dari stasiun Onagawa (31,15° LU; 212,63° BT koordinat magnet) lebih kecil dari H minimum Balai Penjejakan dan Kendali Wahana Antariksa (BPKWA) Biak (9,73° LS; 207,39° BT koordinat magnet) saat badai geomagnet 15 Juli 2000. Kenyataan ini berbeda dari apa yang telah dipercayai di atas. Untuk memastikan hal ini maka dilakukan analisis respon komponen H medan geomagnet berdasarkan lintang menggunakan data komponen H medan geomagnet dari BPKWA Biak dan stasiun di sekitar 210° MM untuk seluruh kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) selama 1995-2001. Hasil analisis diperoleh bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP) dengan rata-rata selisih ΔH -nya 59,27 nT. EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU sampai 10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet. Hal terpenting yang perlu diperhatikan dari hasil ini adalah bahwa jika respon geomagnet di Indonesia lebih tinggi dibandingkan di daerah ekuator geomagnet (YAP) maka potensi kemunculan GIC juga lebih besar terjadi di Indonesia.

Kata Kunci : *Badai geomagnet, Komponen H medan geomagnet, Respon geomagnet terhadap lintang*

1 PENDAHULUAN

Respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet tergantung pada lintang magnetnya. Intensitas respon geomagnet tertinggi teramati di lintang tinggi atau area kutub-kutub bumi dan kemudian menurun sampai ke lintang rendah-ekuator magnet. Hal ini terjadi karena daerah lintang tinggi dan kutub bumi merupakan pintu masuknya partikel dari matahari terutama lebih intens pada saat terjadi rekoneksi antara angin surya dan bagian terluar magnetosfer bumi.

Namun, Santoso (2012), telah memperoleh bahwa respon badai geomagnet di daerah lintang geomagnet 9,73° LS (Biak) sedikit lebih kuat dibandingkan di daerah lintang geomagnet 25°-45° LU dan 20°-40° LS pada bujur yang hampir sama dengan Biak (207,39° BT bujur magnet). Padahal seharusnya respon geomagnet di Biak yang terletak di lintang magnet 9,37° LS memiliki respon lebih kecil daripada di lintang menengah magnet. Dalam makalah ini dilakukan analisis respon komponen H medan geomagnet berdasarkan lintang menggunakan data komponen H medan geomagnet dari BPKWA Biak dan stasiun di sekitar 210° MM untuk seluruh kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) selama

1995-2001. Tujuannya adalah untuk mengetahui respon medan geomagnet di ekuator magnet dan stasiun Biak saat badai geomagnet.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Variasi Harian Medan Geomagnet

Bumi mempunyai medan magnet internal yang dibangkitkan oleh efek dynamo arus listrik dalam fluida lapisan terluarnya. Sedangkan medan magnet eksternalnya berasal dari matahari. Kopling antara medan magnet internal dan eksternal menyebabkan variasi medan magnet bumi (geomagnet). Variasi aktivitas matahari mengendalikan variasi medan geomagnet. Saat kondisi tenang, variasi harian medan geomagnet dipengaruhi oleh efek dynamo berkombinasi dengan *Equatorial Electrojet* (EEJ). Pada kondisi badai geomagnet, EEJ lebih intens terjadi saat fase utama maupun saat fase pemulihan (*Equatorial Electrojet Counter*, EEC), seperti yang akan diuraikan pada sub-bab 2.3.

Baker dan Martyn (1953) telah menunjukkan bahwa ortogonalitas dari medan listrik dan medan magnet di atas ekuator magnet membangkitkan konduktivitas besar arah timur sepanjang siang hari dan menyebabkan aliran *equatorial electrojet* (EEJ) dengan

medan listrik Sq normal. Agha dan Agbo (2014) telah menunjukkan bahwa fenomena EEJ juga memiliki ketergantungan yang sangat kuat terhadap aktivitas ionosfer pada ketinggian lapisan E di lokasi dip ekuator. James dan Rastogi (2002) juga telah menunjukkan bahwa korelasi antara variasi harian medan geomagnet di stasiun Trivandrum (terletak di daerah EEJ) dengan stasiun lain pada *longitude* yang sama nilainya menurun drastis terhadap kenaikan lintang. Nilai korelasi turun sebesar 0,5 di sekitar lintang magnet 8°.

Di daerah ekuator, variasi medan geomagnet pada hari tenang menunjukkan peningkatan kuat mengikuti arus listrik yang mengalir ke arah timur sepanjang garis ekuator yang dinamakan *equatorial electrojet*, EEJ (Chapman, 1951). Medan magnet yang terkait hanya diamati pada zona sekitar 12° di kedua sisi dari ekuator magnet. Dalam zona ini, pengamatan geomagnet permukaan mencatat empat vektor medan magnet yang berbeda yakni komponen eksternal dan internal bidang Sq, serta bidang EEJ eksternal dan internal. Fakta lama telah menetapkan bahwa variasi harian medan geomagnet disebabkan oleh empat vektor medan magnet tersebut. Variasi medan geomagnet tersebut berubah terhadap lintang geomagnet (Yumoto, 1996).

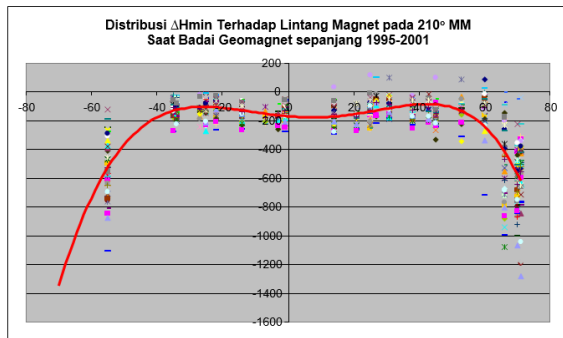
2.2 Pengaruh EEJ dan arus Sq Pada Variasi Geomagnet di Daerah Ekuator Magnet

Arus listrik yang mengalir ke arah timur di sepanjang lintang magnet disebut *Equatorial Electrojet* (EEJ). Di daerah ekuator magnet, variasi medan geomagnet hari tenang (Sq) menunjukkan peningkatan yang kuat yang disebabkan oleh EEJ (Chapman, 1951). Medan magnet yang terkait hanya teramati pada zona sekitar 12° di kedua

sisi dari lintang ekuator magnet. Rigoti et al. (1999) berdasarkan grafik variasi harian komponen H medan geomagnet di enam observatorium berbeda yang ada di lintang rendah magnet, tiga diantaranya berasal dari India, telah menemukan adanya intensifikasi variasi harian komponen H medan geomagnet di atas lintang 0° magnet. Fenomena ini sesuai seperti yang juga telah dijelaskan oleh Chapman (1951) sebagai akibat dari aliran arus listrik arah timur di ionosfer yang disebut sebagai "*Equatorial electrojet*".

2.3 Distribusi Respon Medan Geomagnet Terhadap Lintang Magnet dalam Meridian yang sama pada saat Badai Geomagnet

Ketika terjadi lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection*, CME) yang mengarah ke bumi, partikel dan medan magnet akan terbawa ke bumi bersama dengan angin surya. Saat tumbukan, akan terjadi rekoneksi yang memungkinkan masuknya partikel dan medan magnet dari angin surya ke bagian dalam magnetosfer bumi dan akan semakin efektif jika medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF) mengarah ke selatan ($B_z(-)$). Masuknya partikel dan medan magnet ke magnetosfer bumi dapat menyebabkan gangguan geomagnet global yang disebut badai geomagnet (*geomagnetic storm*) (Gopalswamy, 2009; Vats, 2006; Russell, 2006). Intensitas gangguan badai geomagnet yang teramati di permukaan bumi berbeda-beda bergantung pada lintangnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1. Pada Gambar 2-1 tersebut, nilai komponen H medan geomagnet di lintang tinggi (60° LU < Lintang > 60° LS) adalah minimum, kemudian meningkat secara eksponensial hingga lintang magnet 25° LS - 45° LS dan 20° LU - 40° LU yang selanjutnya naik lagi menuju ekuator magnet (Santoso, 2012).

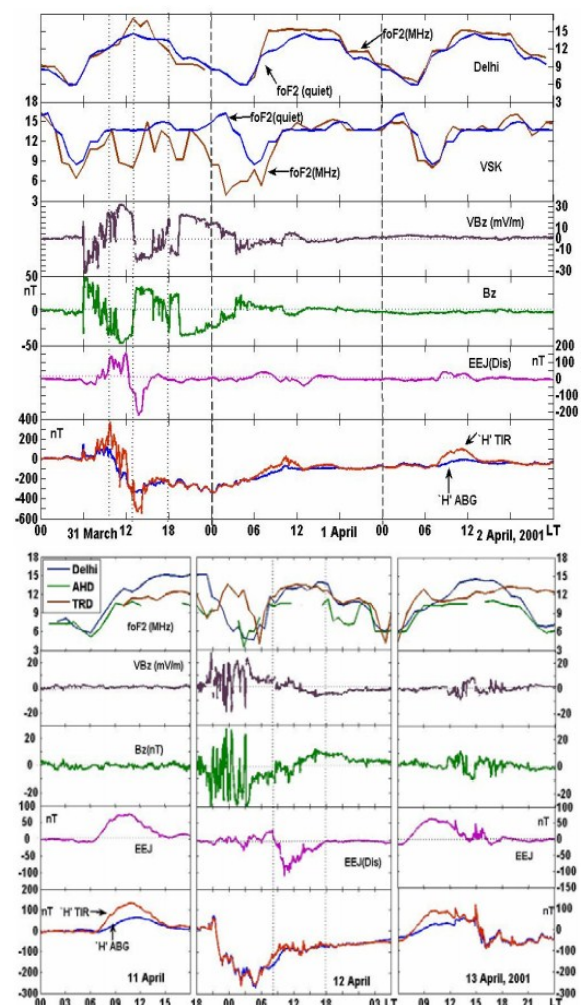


Gambar 2-1: Distribusi ΔH medan geomagnet di meridian 210° MM terhadap Lintang Magnet (dari lintang tinggi belahan utara sampai selatan) saat badai geomagnet sepanjang tahun 1995-2001 (Santoso, 2012).

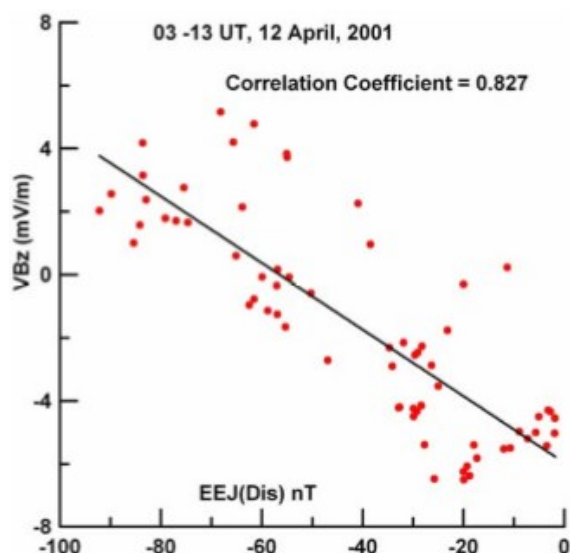
Veenadhari dan Alex (2006) telah memperkirakan kekuatan EEJ terutama saat terjadi badai geomagnet, ketika variasi medan geomagnet di permukaan Bumi menerima kontribusi, tidak hanya dari arus *overhead* di daerah dynamo ionosfer, tetapi juga dari arus magnetosfer yang jauh dari sumber. Hal ini seperti pada Gambar 2-2. Pada Gambar 2-2 tersebut, VBz merupakan parameter penting untuk menyatakan kekuatan badai geomagnet. Demikian juga dengan variasi foF2 pada hari tenang di stasiun Vishakapatnam dan Delhi menyatakan tren saat kondisi tenang relatif. Pada badai geomagnet 31 Maret 2001, selama fase awal badai geomagnet, EEJ mengalami gangguan yang mencolok pukul 09.00 – 13.00 LT di ekuator magnet, yang mengindikasikan bahwa telah terjadi peningkatan medan listrik ke arah timur yang memicu timbulnya medan magnet di permukaan bumi sampai -200 nT. Sedangkan pada badai geomagnet 11 April 2001, EEJ mengalami penurunan selama fase pemulihan badai. Selama fase pemulihan tersebut *Counter Electrojet* (CEJ) teramati di waktu siang. Hubungan antara EEJ dan VBz pada kejadian badai geomagnet 12 April 2001, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-3.

Dalam kasus badai geomagnet 31 Maret 2001, terdapat korelasi antara EEJ dan medan listrik konveksi (VBZ) selama fase awal (00.00-08.00UT), walaupun nilai korelasinya rendah karena diskontinuitas dalam arah Bz.

“Northward turning” dari Bz IMF pada pukul 08.00 UT, 31 Maret 2001 menyebabkan penurunan medan listrik dan elektrojet di sisi siang daerah ekuator. Efek perisai mengurangi intensitas EEJ di sisi siang hari. Hasil studi terhadap 11-13 kejadian badai geomagnet, diperoleh bahwa “Northward turning” dari Bz IMF atau kecenderungan Bz ke arah utara menyebabkan munculnya CEJ selama fase pemulihan badai. Korelasi tersebut tergambar dari adanya nilai korelasi antara EEJ dan VBz sebesar 0,827 selama fase pemulihan (03.00-13.00 UT) 12 April 2001 (Veenadhari dan Alex, 2006).



Gambar 2-2: Variasi foF2 Delhi (19,02° N) dan Vishakapatnam (VSK, 7,95° N), medan listrik konveksi (-VBz), Bz IMF, EEJ dan komponen H medan geomagnet stasiun Tirunelveli dan Alibag. (A) saat badai geomagnet 31 Maret 2001, dan (B) saat badai geomagnet 11 April 2001 (Veenadhari dan Alex, 2006).



Gambar 2-3: Korelasi antara Hasil hitung EEJ dan VBz (Veenadhari dan Alex, 2006)

Sebelumnya, Rastogi et al. (2004) juga telah mengemukakan bahwa respon medan geomagnet di Trivandrum (TRD; $0,28^{\circ}$ LS magnet) lebih besar dibandingkan di Peredina (PRD; $1,3^{\circ}$ LS) saat badai geomagnet tanggal 5 April 1993. Pada saat itu, ΔH_{TRD} dan ΔH_{PRD} mengalami depresi lebih dari -160 nT. Sedangkan pada komponen Z, ΔZ_{TRD} mengalami depresi mencapai nilai -160 nT dan ΔZ_{PRD} mengalami depresi mencapai nilai -125 nT.

3 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data variasi medan geomagnet menit-an hasil pengamatan di BPKWA Biak dan dari stasiun pengamat geomagnet lainnya di sekitar ekuator magnet dan 210° MM yang disediakan oleh Prof. Kiyohumi Yumoto dalam *CPMN Project* (*Circum Pan-Pacific Magnetometer Network Project*), Universitas Kyushu-Jepang. Selain itu, juga digunakan data indeks Dst dari *Word Data Center for Geomagnetism*, Universitas Kyoto, Jepang melalui website http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/ yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian dan intensitas badai geomagnet sepanjang tahun 1992 – 2001.

Identifikasi kejadian badai geomagnet kuat dilakukan menggunakan

data indeks Dst ($Dst \leq -100$ nT). Hasil identifikasi menggunakan indeks Dst tahun 1992 sampai 2001 diperoleh 76 kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT). Hasil identifikasi dari peta stasiun yang ada dalam *CPMN Project* (<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/equator/station/STAT95.HTM>) diketahui ada 5 stasiun pengamat geomagnet yang berada di sekitar ekuator magnet dan 210° MM yakni stasiun YAP, Federasi Mikronesia (FSM) ($1,02^{\circ}$ LU; $209,42^{\circ}$ MM); stasiun Pohnpei, Federasi Mikronesia (FSM) ($0,08^{\circ}$ LU; $229,19^{\circ}$ MM); stasiun Cebu, Filipina ($1,70^{\circ}$ LU; $195,02^{\circ}$ MM); stasiun Davao, Filipina ($1,37^{\circ}$ LS; $196,53^{\circ}$ MM) dan Bac Lieu, Vietnam ($0,70^{\circ}$ LU; $177,12^{\circ}$ MM). Namun, setelah dilakukan identifikasi ketersediaan data, maka hanya stasiun Yap, FSM saja yang cukup lengkap yaitu untuk tahun 1993, 1998 dan 1999. Oleh karena itu, dalam makalah ini akan dianalisis respon medan geomagnet antara di BPKWA Biak dan stasiun Yap pada kejadian badai geomagnet kuat ($Dst < -100$ nT) tahun 1998 dan 1999 (Tabel 3-1).

Tabel 3-1: DAFTAR KEJADIAN BADAI GEOMAGNET SEPANJANG 1998-1999 YANG AKAN DIANALISIS DALAM PENELITIAN INI.

No	Tanggal	ΔH_{min}	Kelas
Badai Geomagnet			
1	04 April 1993	-165 nT	Kuat
2	19 Oktober 1998	-112 nT	Kuat
3	27 Agustus 1998	-155 nT	Kuat
4	25 September 1998	-207 nT	Sangat kuat
5	18 Februari 1999	-123 nT	Kuat
6	22 September 1999	-173 nT	Kuat
7	22 Oktober 1999	-237 nT	Sangat Kuat

Sebagai pembanding digunakan data medan geomagnet dari stasiun di sekitar 210° MM dari lintang utara magnet sampai lintang selatan magnet. Pembandingan dilakukan untuk melihat secara visual degradasi kuat respon medan geomagnet saat badai geomagnet dari lintang tinggi ke lintang rendah. Daftar nama stasiun pengamatan dan lokasi stasiun yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: DAFTAR NAMA STASIUN PENGAMAT GEOMAGNET DAN KOORDINATNYA (DI SEKITAR 210° MM).

No	Nama stasiun	Kode stasiun	Geografis		Magnet	
			Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
1	Kotel'nyy-Rusia	KTN	97,10	146,36	69,92	201,03
2	Chokurdak h-Rusia	CHD	70,62	147,89	64,66	212,14
3	Magadan-Rusia	MGD	59,97	150,86	53,49	218,75
4	Moshiri-Jepang	MSR	44,37	142,27	37,28	213,34
5	Kagoshima-Jepang	KAG	31,48	130,72	24,37	202,36
6	Chichijima-Jepang	CBI	27,15	142,30	19,51	213,12
7	Muntinlupa-Filipina	MUT	14,37	121,02	6,26	192,22
8	Yap-FSM	YAP	9,30	138,50	1,02	209,42
9	Biak-Indonesia	BIK	-1,08	136,05	-9,73	207,39
10	Wewak-PNG	WWK	-3,55	143,62	-12,12	215,37
11	Darwin-Australia	DRW	-12,40	130,90	-22,06	202,78
12	Dalby-Australia	DLB	-27,18	151,20	-36,64	226,94

Selanjutnya dilakukan pembuatan plot variasi gangguan komponen H medan geomagnet (ΔH) dari BPKWA Biak (ΔH_{BIK}) dan stasiun pengamat geomagnet lain dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan di sekitar bujur yang sama dengan Biak (stasiun Chokurdaks, ΔH_{CHD} ; stasiun Kotel'nyy, ΔH_{KTN} ; stasiun Magadan, ΔH_{MGD} ; dan seterusnya sampai stasiun Dalby, ΔH_{DLB}) terhadap 76 kejadian badai geomagnet. ΔH diperoleh melalui formulasi :

$$H(t) = H_o(t) + H_{sq}(t) + \Delta H(t) \quad (3-1)$$

$$\Delta H(t) = H(t) - H_o(t) - H_{sq}(t) \quad (3-2)$$

$$H_{sq}(t) = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_5}{5} \quad (3-3)$$

Dengan $H(t)$ adalah medan geomagnet terukur di suatu lokasi, $H_o(t)$ adalah medan geomagnet utama (*baseline*), $H_{sq}(t)$ adalah medan geomagnet hari tenang dan $\Delta H(t)$ adalah medan geomagnet terganggu oleh aktivitas matahari. Q_1 sampai Q_5 adalah 5 hari paling tenang pada bulan dengan kejadian badai geomagnet.

Selanjutnya, grafik ΔH untuk masing-masing stasiun dianalisis polanya dari lintang tinggi ke lintang

rendah menggunakan metode visual dan statistik.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

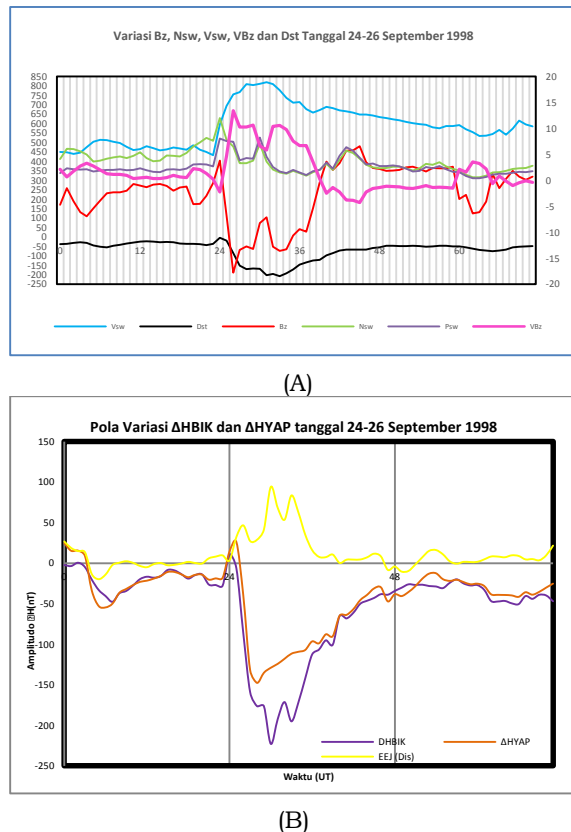
Telah ditunjukkan oleh Santoso (2012) dan Veenadhari da Alex (2006) bahwa respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet di stasiun pengamat geomagnet dekat ekuator magnet ($\pm 3^\circ$ LU/LS, area utama EEJ) sedikit lebih besar dibandingkan di BPKWA (dekat ekuator geografis dan berada di daerah pengamatan EEJ $\pm 12^\circ$ LU/LS lintang magnet). Dari 7 kejadian badai geomagnet sepanjang tahun 1998-1999 yang digunakan sebagai studi (Tabel 3-1), 2 kejadian badai geomagnet digunakan sebagai contoh dan dibahas lebih detail untuk kasus badai geomagnet tanggal 25 September 1998 dan 22 Oktober 1999. Sisanya tetap diolah seperti kedua contoh tersebut, namun tidak dibahas detail dalam makalah ini. Hasil analisis atau pengolahan data ditabulasikan pada bagian akhir bab ini.

a. Variasi Medan Geomagnet di BPKWA Biak dan Yap Pada tanggal 25 September 1998

Variasi medan geomagnet komponen H BPKWA Biak (H_{BIK}) dan Yap (H_{YAP}) serta variasi nilai EEJ tanggal 24 - 26 September 1998 ditunjukkan pada Gambar 4-1 tersebut tepatnya saat peristiwa badai geomagnet tanggal 25 September 1998, rekoneksi terjadi pukul 23.00 UT tanggal 24 September 1998 atau pukul 08.00 LT Biak tanggal 25 September 1998. Setelah rekoneksi, 5 jam kemudian (04.00 UT), komponen H medan geomagnet di stasiun YAP mengalami depresi dan mencapai nilai minimum -148 nT. Sedangkan di stasiun Biak, 7 jam setelah rekoneksi (06.00 UT), komponen H-nya terdepresi sampai mencapai nilai -223 nT. Hal ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet di Biak terhadap badai geomagnet tanggal 25 September 1998 lebih besar daripada di YAP. Seperti diketahui bahwa respon medan

geomagnet di lintang tinggi saat badai geomagnet adalah yang paling besar.

Pada kejadian badai geomagnet tanggal 25 September 1998 pukul 11.00 UT ΔH_{KTN} mengalami depresi mencapai nilai -1487 nT. Selisih nilai ΔH Yap dan ΔH Biak adalah sebesar 75 nT.



Gambar 4-1: (A) Variasi Bz IMF (nT), Vsw (km/s), Nsw (n/cm³), VBz (mV/m) dan indeks Dst (nT) serta (B) variasi ΔH_{BIK} (nT) dan ΔH_{YAP} (nT) serta EEJ (Dis) (nT) tanggal 24-26 September 1998. Badai geomagnet kelas Sangat Kuat ($-200 \text{ nT} \geq \text{Dst} \geq -300 \text{ nT}$) terjadi tanggal 25 September 1998.

Merujuk pada Gambar 2-1 dan Chapman (1951) serta Rastogi et al. (2004), maka respon medan geomagnet di YAP saat badai geomagnet seharusnya lebih besar dibandingkan daerah yang jauh dari ekuator magnet seperti Biak. Diduga sebagai akibat adanya *counter* EEJ (CEJ) yang mulai timbul sejak rekoneksi sampai sepanjang fase utama badai geomagnet. Besarnya CEJ dalam peristiwa ini mencapai 94 nT pada pukul 06.00 UT tanggal 5 September 1998 bersamaan dengan ΔH_{BIK} mencapai nilai minimumnya.

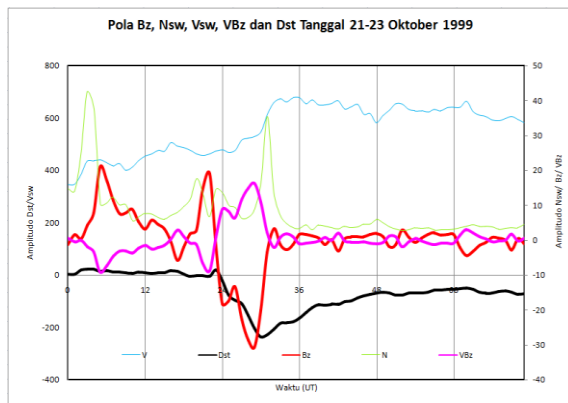
Merujuk hasil Chapman (1951), akibat adanya CEJ ini maka diduga hampir tidak ada medan listrik yang mengalir ke timur sehingga tidak terjadi suplai tambahan medan magnet ke ekuator magnet (daerah utama EEJ, $\pm 3^\circ$ lintang magnet).

b. Variasi Medan Geomagnet di BPKWA Biak dan Yap Pada tanggal 22 Oktober 1999

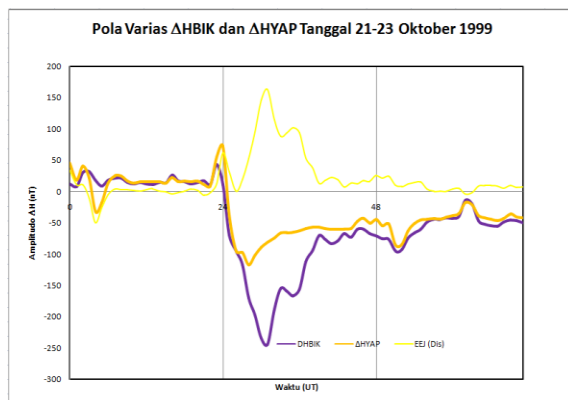
Variasi medan geomagnet komponen H BPKWA Biak (ΔH_{BIK}) dan Yap (ΔH_{YAP}) serta variasi nilai EEJ tanggal 21 - 23 Oktober 1999 ditunjukkan pada Gambar 4-2. Pada gambar tersebut, tepatnya saat peristiwa badai geomagnet tanggal 22 Oktober 1999 ini, rekoneksi terjadi pukul 22.00 UT tanggal 21 Oktober 1999 atau pukul 07.00 LT Biak 22 Oktober 1999. Setelah rekoneksi, 6 jam kemudian tepatnya pukul 04.00 UT, medan geomagnet komponen H di stasiun YAP mengalami depresi dan mencapai nilai -117 nT.

Sedangkan di stasiun Biak, 9 jam setelah rekoneksi tepatnya pukul 07.00 UT (16.00 LT Biak), komponen H-nya terdepresi sampai mencapai nilai -244 nT. Fakta ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet di Biak terhadap badai geomagnet tanggal 22 Oktober 1999 lebih besar daripada di YAP. Bahkan deviasi ΔH_{YAP} dengan ΔH_{BIK} sangat besar yakni hampir 127 nT (nilai deviasi ini lebih besar dari nilai $\Delta H_{YAP} = -117 \text{ nT}$). Hal ini bisa dimaklumi karena pada kejadian ini CEJ yang timbul selama fase utama badai geomagnet cukup besar yakni mencapai nilai 163 nT bersamaan dengan ΔH_{BIK} mencapai minimum.

Sedangkan nilai ΔH_{KTN} (stasiun Kotel'nyy di 69,92° LU; 201,03° MM) pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999 ini terdepresi sampai mencapai nilai -484 nT pada pukul 15.00 UT. Hasil ini berlawanan dengan Gambar 2-1 dan Chapman (1951) serta Rastogi et al. (2004).



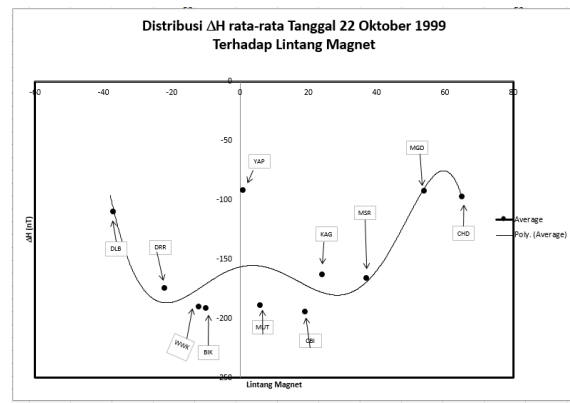
(A)



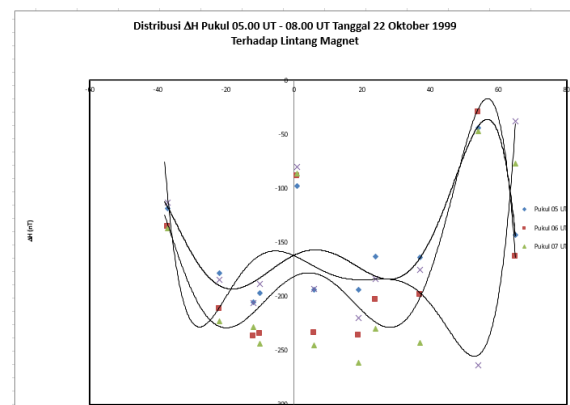
(B)

Gambar 4-2: (A) Variasi B_z IMF (nT), V_{sw} (km/s), N_{sw} (n/cm^3), VB_z (mV/m) dan indeks Dst (nT) serta (B) variasi ΔH_{BIK} (nT) dan ΔH_{YAP} (nT) serta $EEJ(Dis)$ (nT) tanggal 21-23 Oktober 1999. Badai geomagnet kelas Sangat Kuat ($-200 \text{ nT} \geq Dst \geq -300 \text{ nT}$) terjadi tanggal 22 Oktober 1999

Pada kedua kejadian badai geomagnet (25 September 1998 dan 22 Oktober 1999), tidak ada medan listrik yang mengalir ke timur (tidak ada EEJ). Yang ada adalah CEJ sehingga pada kedua badai geomagnet tidak terjadi tambahan medan magnet ke ekuator magnet. Untuk membuktikannya maka dilakukan pembuatan plot per-jam-an medan geomagnet komponen H terganggu (ΔH) stasiun dari lintang magnet tinggi utara sampai tinggi selatan di sekitar 210° MM (Tabel 3-2), terutama pukul 05.00 UT sampai 07.00 UT (waktu fase utama). Hasil plot ΔH pukul 05.00 UT – 07.00 UT tanggal 22 Oktober 1999 dari masing-masing stasiun seperti ditunjukkan pada Gambar 4-3.



(A)



(B)

Gambar 4-3: (A) Distribusi ΔH rata-rata stasiun pengamat geomagnet dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan tanggal 22 Oktober 1999 dan (B) Distribusi ΔH stasiun pengamat geomagnet pada pukul 05.00 UT-07.00 UT tanggal 22 Oktober 1999

Hasil pada Gambar 4-3(A) memperkuat hasil yang telah diperoleh pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2 yaitu bahwa respon medan geomagnet di Biak saat badai geomagnet lebih besar daripada di stasiun YAP. Hal ini menunjukkan sedikit perbedaan dengan hasil yang telah diperoleh oleh Rastogi et al. (2004) dan Veenadri dan Alex (2006) yakni di wilayah India, respon medan geomagnet terhadap badai geomagnet di stasiun pengamatan geomagnet dekat ekuator magnet (daerah utama EEJ) lebih besar daripada di lintang yang lebih besar dalam daerah pengamatan EEJ ($10^\circ \text{ LU/LS magnet}$). Dari Gambar 4-3 (B) terlihat bahwa ΔH di bagian lintang selatan magnet dari 40° LS turun sampai 20° LS dan kemudian naik sampai ekuator

magnet. Sedangkan di bagian lintang utara magnet dari kutub utara medan magnet naik sampai 45° LU, lalu turun sampai 25° LU dan kemudian naik lagi sampai ekuator magnet.

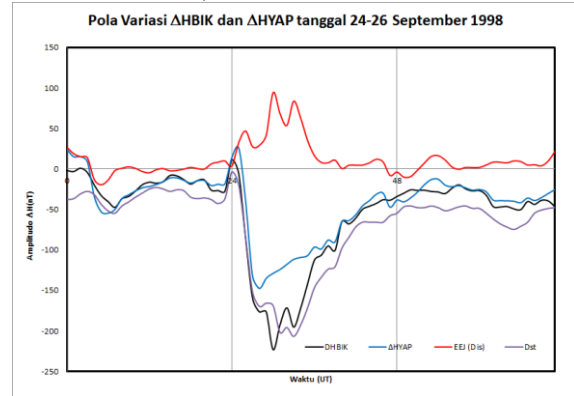
Gambar 4-3, juga dapat memberikan dugaan bahwa respon geomagnet di Biak akan lebih besar dari indeks Dst karena indeks Dst diperoleh dari superposisi ΔH stasiun pengamat di sekitar $30\text{--}40^\circ$ LU/LS magnet. Untuk memastikannya, maka dilakukan plot ΔH_{BIK} dan ΔH_{YAP} bersama dengan Dst dan EEJ.

Gambar 4-4. Menunjukkan pola variasi ΔH medan geomagnet 25 September 1998 dan 22 Oktober 1999. Tampak bahwa nilai ΔH_{BIK} minimum pada kedua kejadian badai geomagnet lebih besar nilai indeks Dst minimum. Pada kejadian badai geomagnet tanggal 25 September 1998, selisih nilai antara Dst minimum (-207 nT) dengan ΔH_{BIK} minimum (-223 nT) adalah 16 nT (Dst minimum - ΔH_{BIK} minimum). Sedangkan pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999, selisih nilai Dst minimum (-237 nT) dengan ΔH_{BIK} (-244 nT) adalah 7 nT (Dst minimum - ΔH_{BIK} minimum).

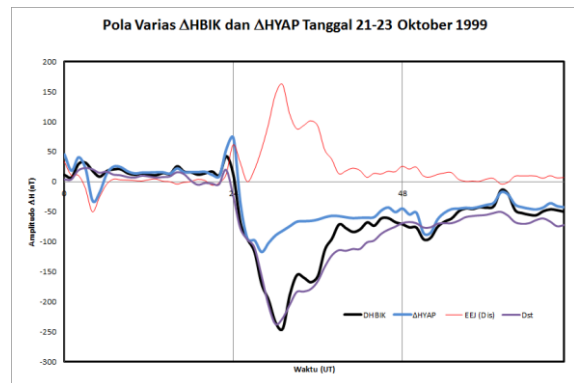
Hasil keseluruhan untuk 5 kejadian badai geomagnet lainnya ditampilkan pada Tabel 4-1.

Adapun nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{BIK} dengan indeks Dst pada kejadian badai geomagnet 25 September 1998 berturut-turut adalah $97,32\%$ dan $12,6$ nT. Sedangkan nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{YAP} dengan indeks Dst berturut-turut adalah $92,74\%$ dan $45,5$

nT. Pada kejadian badai geomagnet 22 Oktober 1999, nilai



(A)



(B)

Gambar 4-4: Variasi ΔH_{BIK} , ΔH_{YAP} , EEJ(Dis) dan indeks Dst (A) 25 September 1998), dan (B) 22 Oktober 1999

korelasi dan deviasi antara ΔH_{BIK} dengan indeks Dst berturut-turut adalah $97,90\%$ dan $13,7$ nT. Sedangkan nilai korelasi dan deviasi antara ΔH_{YAP} dengan indeks Dst berturut-turut adalah $83,76$ dan $39,11$ nT.

Hasil ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP). EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU magnet sampai

Tabel 4-1: DAFTAR KEJADIAN BADAI GEOMAGNET SEPANJANG 1998-1999 YANG AKAN DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN STUDI KASUS

No	Tanggal Badai Geomagnet	Intensitas	Selisih		Korelasi		Deviasi	
			$\Delta H_{\text{YAP}} - \Delta H_{\text{BIK}}$	Dst - ΔH_{BIK}	Dst - ΔH_{BIK}	Dst - ΔH_{YAP}	Dst - ΔH_{BIK}	Dst - ΔH_{YAP}
1	04 April 1993	-165 nT	55 nT	24 nT	95,58%	19,72 nT	77,18%	197,3 nT
2	27 Agustus 1998	-155 nT	53 nT	43 nT	90,74%	41,44 nT	91,32%	55,84 nT
3	25 September 1998	-207 nT	76 nT	16 nT	97,31 %	12,63 nT	92,75%	45,50 nT
4	19 Oktober 1998	-112 nT	25 nT	19 nT	92,41%	14,53 nT	90,41%	43,10 nT
5	18 Februari 1999	-123 nT	45 nT	28 nT	91,66%	25,35 nT	90,60%	52,63 nT
6	22 September 1999	-173 nT	34 nT	-3 nT	98,00%	12,60 nT	97,78%	33,75 nT
7	22 Oktober 1999	-237 nT	127 nT	7 nT	97,90%	13,60 nT	83,76%	39,11 nT
RATA-RATA			59,29 nT	19,14 nT	94,80%	19,90 nT	89,11%	66,75nT

10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet saat badai geomagnet sesuai dengan hasil Chapman, (1951); Rigoti et al., (1999); Rastogi et al., (2004).

5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (stasiun YAP) dengan rata-rata selisih ΔH -nya adalah 59,27 nT dan bahkan umumnya lebih besar dari indeks Dst. Nilai korelasi dan deviasi antara respon ΔH_{BIK} dengan badai geomagnet (Indeks Dst) yakni sebesar 94,80% dan 19,90 nT juga lebih baik daripada respon ΔH_{YAP} dengan badai geomagnet (indeks Dst) yakni sebesar 89,11% dan 66,75 nT. Hasil ini menunjukkan bahwa respon medan geomagnet saat badai geomagnet di Biak lebih besar dari pada di ekuator magnet (YAP). EEJ dan CEJ di daerah EEJ (10° LU magnet sampai 10° LS magnet) terbukti mempengaruhi respon geomagnet saat badai geomagnet sesuai dengan hasil Chapman, (1951); Rigoti et al., (1999); Rastogi et al., (2004).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dra. Clara Yono Yatini, M.Sc., Kepala Pusat Sains Antariksa dan Drs. Jiyo, M.Si., Kepala Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa selama proses penyusunan makalah ini sebelum dikirimkan ke Pukasi LAPAN. Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. K. Yumoto, dkk dari Kyoto University atas diperkenalkannya dalam menggunakan data geomagnet CPMN.

DAFTAR RUJUKAN

Agha S. O., and Agbo G. A., 2014. *An Espository Study On The Equatorial Electrojet*, European Journal of Physical and Agricultural Sciences, Vol. 2 No. 2, ISSN: 2056-5879.

Baker W. G. dan Martyn D. F., 1953. *Electric Currents in the Ionosphere: I. The Conductivity*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Science, Vol. 246, No. 913, 281-294.

Chapman S., 1951. *The Equatorial Electrojet as Detected from the Abnormal Electriccurrents Distribution Above Huancayo, Peru and elsewhere*: Arch. Metrol. Geophys. Bioklimatol, A4, 368-390.

Gopalswamy N., 2009. *Halo Coronal Mass Ejections and Geomagnetic Storm*, Earth Planet Space, 61, 1-3.

James, M. E. dan Rastogi, R. G., 2002. *Critical Study of the Solar Daily Range of Geomagnetic H Field as Indo-Russian Chain of Stations*, J. Ind. Geophys. Union, 4(4), 182-194.

Rastogi R. G., Kitamura T., and Kitamura K., 2004. *Geomagnetic Field Variations at the Equatorial Electrojet Station in Sri Lanka, Peredinia*, Annales Geophysicae, 22, 2729-2739.

Rigoti A., Chamalaun F. H., Trivedi N. B., and Padilha A. L., 1999. *Characteristics of the Equatorial Electrojet determined from an array of magnetometers in N-NE Brazil*, Earth Planets Space, 51, 115-128.

Russell C.T., 2006. *The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: Tutorial*, Department of Earth and space sciences and Institute of Geophysics and Space Physics of University of California, Los Angeles.

Santoso A., 2012. *Respon Latitudinal Medan Geomagnet di Sekitar Biak (1.08° LS; 136.05° BT) saat badai geomagnet*, Seminar Nasional Fisika 2012, Serpong 4-5 Juli 2012, ISBN: 2088-4176.

Vats H. O., 2006. *Geo-effectiveness of Solar Wind Extremes*, Journal of Astrophysics and Astronomy, Volume 27, Issue 2-3, 227-235.

Veenadhari B. and Alex S., 2006. *Space Weather Effects on Low Latitude Geomagnetic Field and Ionospheric Plasma Response*, ILWS Workshop 2006, GOA, February 19-24 2006.

Yumoto K., 1996. *The 210° MM Magnetic Observation Group, the Step 210° Magnetic Meridian Network Project*, J. Geomag. Geoelectr., 48.